



EESTI MAAÜLIKOOL  
Tehnikainstituut

**Kadri Siht**

**EESTIS KASUTATAVATE PAIGALDUSKAABLITE  
VÕRDLUS**

**COMPARISON OF INSTALLATION CABLES AVAILABLE IN  
ESTONIA**

Bakalaureusetöö  
Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendaja: nooremteadur Erkki Jõgi, *MSc*

Tartu 2017

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Kadri Siht		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Eestis kasutatavate paigalduskaablite võrdlus			
Lehekülgi: 40	Jooniseid: 3	Tabeleid: 19	Lisasid: 8
Osakond: Energeetika osakond Uurimisvaldkond: 4. Loodusteadused ja tehnika, 4.17. Energeetikaalased uuringud; CERCS: T140 Energeetika Juhendaja: nooremteadur Erkki Jõgi, <i>MSc</i> Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2017			
<p>Erinevatest allikatest on teatatud, et kaubanduses müüdavad paigalduskaablid ei vasta kehtestatud standardile. Standarditele mittevastavate kaablite kohta on tehtud varasemaid uurimusi, kuid on vaja koguda täiendavaid andmeid hetkel müügil olevate kaablite kvaliteedi kohta. Käesoleva uurimistöö eesmärk on välja selgitada, millistele Eestis kehtiva standardi EVS 720:2015 nõuetele vastavad uuringuks valitud kaheksa kaablit. Töö käigus mõõdeti elektrilistest suurustest juhtide elektritakistused ja isolatsioonitakistused ning füüsilistest suurustest määrati ristlõike pindala ja isolatsioonikihi paksus. Ükski uurimistöös vaatluse all olnud kaablitest ei vastanud täielikult standardile. Elektritakistus oli standardile vastav kahel kaablil, kõik ristlõike pindalad vastasid standardile ühel kaablil ja kõik isolatsioonipaksused samuti ühel kaablil. Pooltel kaablitest vastasid nõuetele nii mantli paksus kui ka kaabli läbimõõt. Isolatsioonitakistus oli mõõdetud parameetritest ainus, mis kõikidel kaablitel oli nõuetele vastav. Töös jõuti sarnastele tulemustele, mida kajastas ka Jüri Laursoni oma artiklis. Tööd võiks jätkata ülejäänud katsetega tandardis EVS 720:2015.</p>			
Märksõnad: standard, ristlõige, elektritakistus, isolatsioonitakistus, mõõtmised			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Kadri Siht		Speciality: Engineering	
Title: Comparison of Installation Cables Available in Estonia			
Pages: 40	Figures: 3	Tables: 19	Appendixes: 8
<p>Department: Energy Engineering</p> <p>Field of research: 4. Natural Sciences and Engineering, 4.17. Energetic Research; CERCS: T140 Energy research.</p> <p>Supervisors: Erkki Jõgi, <i>MSc</i></p> <p>Place and date: Tartu 2017</p>			
<p>From various sources have reported that commercially available installation cables do not meet the standard. There are earlier studies about substandard cables, but there is a need to collect additional data on the quality of the currently available cables. The purpose of this research is to find out whether the selected cables in the study meet the applicable standard EVS 720: 2015. In this study there was measured electrical resistances of conductor and insulating layer. And from physical dimensions are measured thickness of insulating layer and detected the cross-sectional area. None of the cables under observation did fully comply with the standard. Electrical resistance complied with the standard in two cables, and all cross-section areas, as well as the measurements of insulation thickness complied with the standard in one cable. Four uniform cables had an insulation thickness and a cable diameter that complied. Insulation resistance was the only one of measured parameters that was satisfied by all the cables. The work showed similar results, as reflected in article of Jüri Laurson. Work could be continued with the rest of the tests to the standard EVS 720: 2015.</p>			
Keywords: standard, cross section, electrical resistance, electrical isolation, dimensions			

## SISUKORD

TÄHISED JA LÜHENDID .....	6
SISSEJUHATUS .....	9
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....	10
1.1.Olukord kaubanduses ja tootmises .....	10
1.2.Kaabli konstruktsioon.....	10
1.3.Kaabli isoleermaterjalid.....	11
1.4.Kaabli tootmine .....	12
1.5.Kaablite tähistamine .....	13
1.6.Kaablite valik ja paigaldus .....	14
1.7.Standardid.....	16
1.8.Standardi nõudeid töö käigus teostatud katsetustele .....	19
1.9.Mõõtmine ja statistika .....	20
2. MATERJAL JA METOODIKA .....	23
2.1.Elektritakistuse mõõtmine .....	23
2.2.Kaabli mõõtmete mõõtmine .....	25
2.3.Isolatsioonitakistuse mõõtmine .....	25
3. TULEMUSED JA ARUTELU .....	28
3.1.Elektritakistused .....	28
3.2. Kaablite mõõtmed .....	29
3.3.Isolatsioonitakistused .....	33
KOKKUVÕTE .....	36
COMPARISON OF INSTALLATION CABLES AVAILABLE IN ESTONIA.....	37
KASUTATUD KIRJANDUS .....	38
LIHTLITSENTS.....	40
LISAD .....	41
Lisa A. Draka XLPE isolatsiooniga paigalduskaabli tootjaandmed.....	42
Lisa B. Draka PVC isolatsiooniga paigalduskaabli tootjaandmed.....	43
Lisa C. 1,5 mm <sup>2</sup> juhi ristlõikega kaablite elektritakistused .....	44
Lisa D. 2,5 mm <sup>2</sup> juhi ristlõikega kaablite elektritakistused .....	44
Lisa E. Kaablite PPJ Light 3G1,5 ja XPJ 3G1,5 mõõtmed .....	44

Lisa F. Kaablite PPJ 3x1,5 ja (N)YM-J 3x1,5 mõõtmel.....	44
Lisa G. Kaablite (N)YM 3x2,5 ja XPJ 3G2,5 mõõtmel.....	44
Lisa H. Kaablite PPJ Light 3G2,5 ja PPJ 3G2,5 mõõtmel.....	44

## TÄHISED JA LÜHENDID

<i>A</i>	– alumiiniumi tähis soonematerjalina kaablite tähistamissüsteemis
<i>a<sub>l</sub></i>	– eritakistuse temperatuuritegur temperatuuril $\tau_l$
<i>C</i>	– koaksiaalsoone olemasolu tähis kaablite tähistamissüsteemis
<i>c</i>	– mõõtesilla kontakt
<i>CENELEC</i>	– Euroopa Elektrotehnika Standardimiskomitee
<i>EVS</i>	– Eesti Standardikeskus
<i>FTIR-seade</i>	– infrapunaspektroskoopia meetodil põhinev analüsaator
<i>G</i>	– kaitsesoone olemasolu tähis kaablite tähistamissüsteemis
<i>HA</i>	– faasisoone isolatsiooni halli värvi tähis
<i>I</i>	– voolutugevus
<i>J</i>	– paigalduskaabli tähis kaablite tähistamissüsteemis
<i>K</i>	– jõukaabli tähis kaablite tähistamissüsteemis
<i>k</i>	– kattetegur
<i>KORO</i>	– kaitsesoone isolatsiooni värvi tähis
<i>l</i>	– juhi pikkus
<i>L</i>	– faasijuht
<i>MMJ</i>	– PVC-mantliga paigalduskaabel Soome standardi SFS 2091 järgi
<i>MU</i>	– faasisoone isolatsiooni musta värvi tähis
<i>N</i>	– neutraaljuht
<i>n</i>	– mõõteseeria pikkus / valim
<i>NYM</i>	– PVC-mantliga paigalduskaabel Saksa standardi DIN VDE 0250, osa 204 järgi
<i>O</i>	– juhtimiskaabli tähis kaablite tähistamissüsteemis
<i>P</i>	– polüvinüülkloriidisolatsiooni tähis kaablite tähistamissüsteemis
<i>PEX</i>	– Vörkstruktuur polüetüleen
<i>PE</i>	– kaitsejuht
<i>PPJ</i>	– polüvinüülkloriidisolatsiooniga paigalduskaabel
<i>PRU</i>	– faasisoone isolatsiooni pruuni värvi tähis
<i>PUR</i>	– polüuretaan

$PVC$	– polüvinüülkloriid
$Q$	– soojushulk
$R$	– karpi, vihta või rulli pakkimise tähis kaablite tähistamissüsteemis
$R_e$	– elektritakistus
$R_{isol}$	– isolatsioonitakistus
$R_X$	– mõõtesilla mõõdetav takistus
$R_{\mathcal{A}}$	– mõõtesilla voolu piirav takistus
$R_{cp}$	– mõõtesilla muudetav takistus
$S$	– juhi ristlõike pindala
$SI$	– neutraalsoone isolatsiooni värvi tähis
$t$	– aeg
$T$	– trumlile keritud kaabli tähis kaablite tähistamissüsteemis
$t_{n,p}$	– Studenti kordaja
$t_t$	– tööiga töötemperatuuril
$t_{t0}$	– tööiga temperatuuril 0 °C
$u$	– liitmääramatus
$U$	– laiendmääramatus
$u_A$	– A-tüüpi määramatus
$u_B$	– B-tüüpi määramatus
$u_i$	– määramatus
$X$	– võrkstruktuurpolüetüleenisolatsiooni tähis kaablite tähistamissüsteemis
$x$	– kaitsesoone puudumise tähis kaablite tähistamissüsteemis
$\bar{x}$	– aritmeetiline keskmine
$X_i$	– mõõtmisel saadud väärtus
$XLPE$	– võrkstruktuuriga polüetüleen
$XPJ$	– võrkstruktuuriga polüetüleenist isolatsiooniga paigalduskaabel
$\rho$	– eritakistus
$\rho_1$	– eritakistus temperatuuril $\tau_1$
$\rho_2$	– eritakistus temperatuuril $\tau_2$
$\tau$	– töötemperatuur
$\tau_1$	– temperatuur, mille juures eritakistus käsiraamatus on antud
$\tau_2$	– temperatuur, mille juures eritakistust leida on vaja

$\tau_k$	–	karakteristlik temperatuur
$A$	–	mõõtesilla takistus, silla õlg
$B$	–	mõõtesilla elektromotoorjõuallikas
$B$	–	mõõtesilla takistus, silla õlg
$III$	–	galvanomeeter M2032/1
$\Pi_1$	–	mõõtesilla klemm
$\Pi_2$	–	mõõtesilla klemm
$T_1$	–	mõõtesilla klemm
$T_2$	–	mõõtesilla klemm



## SISSEJUHATUS

Iga uue ehitusobjekti projekteerimisel või vana renoveerimisel on oluline valida kõigi elektriseadmete juurde paigalduskaablid, mis hoonesiseselt elektrienergia tarbijateni kannavad. Kaablid peavad olema inimestele, koduloomadele ja varale ohutud. Päästeameti andmetel oli aastal 2015 elektriseadme või -paigaldise rikkest põhjustatud tulekahjustest 16 % tingitud vanadest või sobimatutest juhtmetest [1]. On tekkinud probleem, et ostetud kaablite juhtide ristlõiked ei vasta kaablil kirjas olevale nimiristlõikele või on mingil muul moel eksitud kaablitele kehtestatud nõuete vastu. Sobimatud kaablid põhjustavad tulekahjusid. Standarditele mittevastavate kaablite kohta on elektriinsener Jüri Laurson väitnud, et kaubanduses müüdavad paigalduskaablid ei vasta standarditele ja nimiväärtustele [2]. Uurimustöö eesmärk on välja selgitada, kas Eestis müüdavad 1,5 mm<sup>2</sup> ja 2,5 mm<sup>2</sup> juhi ristlõikega paigalduskaablid vastavad Eestis kehtestatud standardile EVS 720:2015. Katsed viidi läbi kaheksa müügil oleva kaabliga – neli 1,5 mm<sup>2</sup> juhi ristlõikega: (N)YM-J 3x1,5 300/500 V TF, PPJ Light 3G1,5 R100 Foil, XPJ 3G 1,5, PPJ 3x1,5 ning neli 2,5 mm<sup>2</sup> juhi ristlõikega: PPJ 3G2,5, PPJ Light 3x2,5, XPJ 3G2,5, (N)YM-J 3x2,5.

Eesmärgi täitmiseks oli vajalik:

1. koostada kirjanduse ülevaade, kus on kirjas kaablite konstruktsioon, tootmine, valik, kaablitele kehtivad standardid ja statistilised meetodid;
2. koostada mõõtmise metoodika juhi elektritakistuse, kaablite, soonte ja juhtide läbimõõtude, mantlipaksuste ja isolatsioonitakistuse mõõtmiseks;
3. mõõta parameetrid;
4. analüüsida tulemusi.

Töö kõige olulisemaks infoallikaks oli standard EVS 720:2015.

# 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

## 1.1. Olukord kaubanduses ja tootmises

Tingituna tihedast turukonkurentsist üritavad tootjad ja kaupmehed hoida hinda võimalikult madalal ja viitavad, et konkurendid toodavad kehvema kvaliteediga tooteid. Eesti Elektritööde Ettevõtjate Liidu direktori Arvo Ulla on väitnud, et just Lõuna-Euroopas toodetud kaablid on kehvema kvaliteediga [3]. Draka Keila Cables tootejuhi sõnul on Eestis müügil Eesti ja Põhja-Euroopa standardite järgi valmistatud PPJ ja MMJ kaablid kvaliteetsed ning Kesk-Euroopa standarditele vastavad NYM kaablid väiksema kvaliteediga. Artiklis on toodud seisukoht, et väiksem külmakindlus, lubatust väiksem ristlõige ja madala kvaliteediga isolatsioon on (N)YM kaablitel. [4]

Tabelis 1.1. on Effex'is müüdavate kaablite keskmised hinnad.

**Tabel 1.1.** Kaablite keskmised hinnad, €/m [5, 6]

Ristlõike pindala, mm <sup>2</sup>	NYM		PPJ	
	Kahe soonega	Kolme soonega	Kahe soonega	Kolme soonega
1,5	0,50	0,52	0,68	0,9
2,5	-	0,82	0,96	1,37

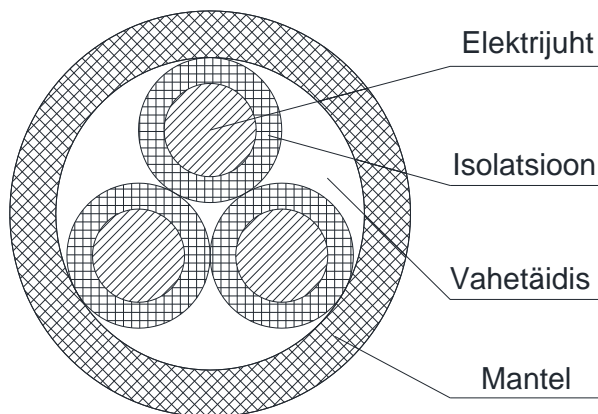
Tabelist 1.2. selgub, et PPJ kaablite hinnad on kallimad kui NYM kaablite hinnad.

Eestis toodab kaableid Draka Keila Cables. Sisse tuuakse kaableid Poolast ja Tšehhist [3]. Lisades Lisa A ja Lisa B on Keila Draka Cable XLPE ja PVC isolatsiooniga paigalduskaablite tootjaandmed.

## 1.2. Kaabli konstruktsioon

Kaabel on ühest või mitmest soonest koosnev isoleerjuht, millel on välistoimete eest kaitsev hermeetiline kest (mantel) [7]. Mantli olemasolu ongi see, mille poolest kaabel erineb juhtmest. Soon on isoleeritud juht. Juhi materjaliks on enamasti vask või alumiinium. Alumiiniumi kasutatakse alates juhi ristlõikest 16 mm<sup>2</sup>. Mantel on enamasti polümeerist

(polüvinüülkloriid – *PVC*, polüetüleen ). [8] Kolmesoonelise kaabli ristlõige on joonisel 1.1.



**Joonis 1.1.** Kolme soonega kaabli ristlõige

Kaablid ja juhtmed on painduvad elektrijuhid, lisaks on veel paindumatud juhid – latid. Kaablisooone metallosa (juht) võib olla massiivne (monoliitne) või kiuline. [8] Paigalduskaabliteks nimetatakse kaableid nimipingega kuni 450/750 V. [9]

Kaablite tähtsamad omadused on hea elektrijuhtivus, head kontaktomadused, head isoleeromadused, mehaaniline tugevus, painduvus, keemiline stabiilsus, kuumakindlus, suur soojusmahtuvus, kaitstus välistoimete eest, käsitlemise lihtsus, keskkonnasõbralikkus. Majanduslikus mõttes on oluline veel hind. [8]

### 1.3. Kaabli isoleermaterjalid

Isoleermaterjalideks kasutatakse polümeere nende heade dielektriliste omaduste tõttu. Polümeerid võivad olla looduslikud (kautšuk, tselluloos, vaigud) või sünteetilised (polüetüleen, polüstürool, polüvinüülkloriid, polüestrid, polüamiidid, epoksüvaigud). Kuigi isoleermaterjalidesse lisatakse stabilisaatoreid, halvenevad nende dielektrilised ja mehaanilised omadused temperatuuri, valguse ja hapniku mõjul. [10]

Polümeere saab liigitada termoplastseteks ja termoreaktiivseteks. Termoplastsed on temperatuuri tõusmisel voolavad ja plastsed, temperatuuri alanedes tahked. Termoreaktiivsed polümeerid on tootmises pehmed, siis kõvastuvad ning pärastisel

kuumutamisel ei pehmene. [10]

Polüetüleen on poolläbipaistev, tugev, elastne, heade isoleerivate omadustega ja keemiliselt vastupidav. Seda toodetakse eteeni ( $CH_2=CH_2$ ) polümerisatsiooni teel. Eteenis kaksiksidemete lõhkumisel üksiksidemeteks, saadakse pikad n elementaarlülid koosnevad molekulid:  $-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-$ , mida saab lihtsalt tähistada  $(CH_2)_n$ . Võrkstruktuuriga polüetüleeni (XLPE) kasutatakse kaablite isoleerimiseks. Võrkstruktuur tähendab, et polümeeris ei ole üksikuid hargnemata ahelaid. Polüvinüülkloriidi PVC ( $C_2H_3Cl$ )<sub>n</sub> toodetakse klooriteenist. Põlemisel eralduvad mürgised gaasid. [10]

#### **1.4. Kaabli tootmine**

Kaabli tootmine on mitmeetapiline protseduur. Esimeseks sammuks on traadi tõmbamine. See on materjali külm töötlemine, tavaliselt tootemperatuuril. Tõmbamise käigus saadakse vajaliku läbimõõduga juht. Algse läbimõõduga traat tõmmatakse läbi väiksema ava - tõmbesilma. Seejärel tehakse termiline töötlus juhtivuse parandamiseks. [11] Tõmbamine annab tootele sileda pinna ja täpsed mõõtmed. Kui tooriku ristlõiget on vaja oluliselt vähendada, tehakse tõmbamist korduvalt. Seda tehakse põhjusel, et tõmbejõu suurus on piiratud metalli tugevuse ja tõmbamise astmega. Tõmbamise aste on lähtetooriku ristlõike pindala suhe toote ristlõike pindalasse (1,05 – 1,5). Tõmbamise pingel tulemusel traat venib ja selle läbimõõt on väiksem tõmbesilma läbimõõdust. Materjali mehhaaniliste omaduste ebaühtlus põhjustab samuti ebaühtlast venimist.

Tõmbamisel kasutatakse hõõrdumise vähendamiseks määrdeaineid. Tõmbamisel toimub metalli kalestumine, see muutub tugevamaks ja hapramaks. Kalestumise eemaldamiseks traat lõõmutatakse. Kui traati tõmmatakse mitu korda, tuleb ka lõõmutamist teha mitu korda. Pärast lõõmutamist ja enne järgmist tõmbesilma traat puhastatakse: söövitatakse happega ja pestakse leelises. Mõnikord tehakse lõõmutamist ka enne tõmbamist. Pärast tõmbamist ja lõõmutamist traat õlitatakse. Traadi tõmbamine toimub pinkidel, kus traat keritakse trumlile – trummelpinkidel. [12, 13] Lõõmutada saab ka lastes traadist läbi suure voolu, mis tõstab temperatuuri traadis 537,8 °C. Sel juhul toimub lõõmutamine vees, et vältida vase oksüdeerumist. Ühtlasi vesi jahutab ja puhastab traati enne isoleerimist. [14] Lõõmutamisel 400...650 °C-ni saadakse pehme vask, mille tõmbetugevus on 240 – 280 MPa. Pehmet vaske kasutatakse näiteks elektrimasinate ja aparatuuride mähisteks, kaabliisooteks. [10]

Järgmine protsess on traatide keerutamine (*wiring*). Valminud juht kaetakse isolatsiooniga kõrgel temperatuuril, saadakse sooned. Soonte keerutatakse omavahel kokku (*phase wiring*) südamikuks. Südamikule lisatakse veel täiendav kate (mantel) ja vajadusel soomus (nt. põimitud terastraatidest), mis kaitseb mehaanilise vigastuse eest. Kaablite välispinnale trükitakse järgnevad tähised: valmistaja tunnus, tüübitähis, soonte arv, kollarohelise soone olemasolutähis ( $G$  või  $X$ ), soonte nimiristlõige, nimipinge, pikkusmärgid (kuni neljakohaliste numbritega iga meetri järel). Kvaliteedikontroll tehakse pingetestiga. [11]

## 1.5. Kaablite tähistamine

Kaablite tähistamisel kasutatakse 10-positsioonilist süsteemi. Järgnevas loetelus on välja toodud, mida igal positsioonil olev info tähendab. [7]

1. Soone materjal:  $A$  – alumiinium, tähistuseta – vask.
2. Isolatsioon:  $P$  – polüvinüülkloriid,  $X$  – võrkstruktuuriga polüetüleen.
3. Koaksiaalsoone olemasolu:  $C$  – koaksiaalsoon on olemas, tähistuseta – koaksiaalsoont ei ole.
4. Mantel:  $P$  – polüvinüülkloriid
5. Kaabli liik:  $K$  – jõukaabel,  $J$  – paigalduskaabel,  $O$  – juhtimiskaabel.
6. Soonte arv
7. Tähistatud kaitsesoone olemasolu:  $G$  – kaitsesoon on olemas,  $x$  – kaitsesoont ei ole
8. Nimiristlõige,  $\text{mm}^2$
9. Nimipinge, kV
10. Pakkimisviis:  $R$  – karp, viht või rull,  $T$  – trummel, ja kaabli pikkus, m.

Kaablite tähistussüsteemi saab kujutada tabelis 1.2.

**Tabel 1.2.** Kaablite tähistamissüsteem

Positsioon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Näide		X		P	J	3	G	1,5		R100

Nt. XPJ 3G 1,5 R100 kaabel on polüvinüülkloriidmantliga kolme soonega võrkstruktuur-

polüetüleenist sooneisolatsiooniga vaskkaabel, milles ei ole koaksiaalsoont, on olemas kaitsesoon ja iga juhi nimiristlõike on  $1,5 \text{ mm}^2$ . Kaabel on pakendatud karpi, vihta või rulli ja on 100 m pikkune.

## 1.6. Kaablite valik ja paigaldus

Juhtmete ja kaablite õige ristlõike valikuga tagatakse tuleohutus, ohutus inimestele ning väike pinge- ja võimsuskadu [15]. PPJ kaableid tohib paigaldada kohtkindlalt pinnale või süvistatult ruumisiseselt ja väljas, aga mitte pinnasesse või vette. Isolatsiooni temperatuur ei tohi kestvalt ületada  $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , pärast lühist (5 s) mitte üle  $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Minimaalne paigaldustemperatuur on  $-15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . [7]

Juhis eralduv soojus on arvutatav valemiga 1.1.

$$Q = I^2 R_e t, \text{ W}\cdot\text{s} \quad (1.1)$$

kus  $I$  on voolutugevus A;  
 $R_e$  – elektritakistus  $\Omega$ ;  
 $t$  – aeg s.

Juhi elektritakistus sõltub juhi materjali eritakistusest, on võrdeline juhi pikkusega ja pöördvõrdeline juhi ristlõike pindalaga ning arvutatav valemiga 1.2.

$$R_e = \rho \frac{l}{S}, \Omega \quad (1.2)$$

kus  $l$  on juhi pikkus m;  
 $\rho$  – juhi eritakistus  $\Omega\cdot\text{m}$ ;  
 $S$  – juhi ristlõike pindala  $\text{mm}^2$ .

Valemitest 1.1. ja 1.2. järeldub, mida väiksem on juhi ristlõike pindala, seda suurem takistus on juhil ja seda rohkem eraldub juhist soojust. Juhist eralduv soojus on arvutatav valemiga 1.3.

$$Q = I^2 \rho \frac{l}{S} t, \text{ W}\cdot\text{s} \quad (1.3)$$

Seetõttu on standardis määratud juhtidele maksimaalne lubatud takistus.

Isoleermaterjali tööiga sõltub materjali kestvast temperatuurist ja on ligikaudselt arvutatav valemiga 1.4. [10]

$$t_t = t_{to} e^{(-a\tau)}, \quad (1.4)$$

kus  $t_{to}$  on isolatsiooni tööiga temperatuuril 0 °C;

$a$  – materjalist sõltuv tegur;

$\tau$  – töötemperatuur, °C.

Isolatsiooni temperatuuri suurenemine 8 – 10 °C võrra vähendab materjali tööiga 2 korda [10].

Kasutatava kaabli ristlõige valitakse kaabli koormusvoolu järgi. Koormusvool määratakse juhile lubatava suurima temperatuuri järgi, sest koormusvool põhjustab juhi kuumenemise. Liigtemperatuur kiirendab kaabli isolatsiooni vananemist ja võib põhjustada tulekahju. *PVC*-isolatsiooniga juhile lubatav maksimaalne temperatuur on 70 °C ja võrkstruktuur polüetüleen (*PEX*) isolatsiooniga juhtidele 90 °C. [9] Tüüppaigaldusviis on paigaldusviis, mille jaoks on arvutuste või katsetuste teel leitud kestvalt lubatud voolu väärtus. [16]

Kaablite ja juhtmete tüüppaigaldusviisid [16]:

A1 – ühesoonelised isoleerjuhtmed või kaablid soojusisoleerseina süvistatud torus

A2 – mitmesooneline kaabel või manteljuhe soojusisoleerseina süvistatud torus

B1 – isoleerjuhtmed puitseinal paiknevas torus

B2 – mitmesooneline kaabel või manteljuhe puitseinal paiknevas torus

C – ühe- või mitmesooneline kaabel või manteljuhe puitseinal

D1 – mitmesooneline kaabel või manteljuhe torus, mis paikneb pinnases

D2 – vahetult pinnasesse paigaldamiseks ette nähtud mitmesooneline kaabel

Tabelis 1.3. on toodud juhtidele lubatavad koormusvoolud olenevalt juhi ristlõike pindalast, isolatsioonimaterjalist ja paigaldusviisist.

**Tabel 1.3.** Juhtidele lubatavad voolud, A [16]

Ristlõige ja isolatsiooni materjal	A1	A2	B1	B2	C	D1	D2
1,5 mm <sup>2</sup> PVC	14,5	14	17,5	16,5	19,5	22	22
2,5 mm <sup>2</sup> PVC	19,5	18,5	24	23	27	29	28
1,5 mm <sup>2</sup> XLPE	19	18,5	23	22	24	25	27
2,5 mm <sup>2</sup> XLPE	26	25	31	30	33	33	35

2,5 mm<sup>2</sup> juhi ristlõikega kaableid võib suurema vooluga koormata kui 1,5 mm<sup>2</sup> juhi ristlõikega kaableid, sest suurema juhi ristlõikega juhtmest või kaablist eraldub sama voolutugevuse korral vähem soojust (valem 1.3.). *XLPE* isolatsiooniga paigalduskaablitele lubatakse suurem kestev koormusvool.

## 1.7. Standardid

Eestis müüdavad paigalduskaablid peavad vastama harmoneeritud standarditele, rahvusvahelistele standarditele või tootjariigi (kui on Euroopa Majanduspiirkonna liikmesriik) rahvuslikule standardile. [17] Euroopas tegeleb standardiseerimisega CENELEC, mis on Euroopa Elektrotehnika Standardimiskomitee. CENELEC-il on 32 liiget, mille hulka kuulub ka Eesti Standardikeskus EVS. [18]

Kuigi Eestis võib müüa madalpingeseadmete direktiivile vastavaid kaableid, tuleb arvestada, et kõik nendest ei sobi Eesti kliimas talvisel ajal tehtavateks elektripaigaldustöödeks. [17] Paigalduskaablitele kehtiv standard EVS 720:2015 on standard, milles on kirjas erinõuded kaablitele Eesti ilmastikuoludes. [19]

Kaablite paigaldamisel tuleb järgida EVS-HD 60364-1 (Ehitiste elektripaigaldised. Osa 1: Põhialused, üldiseloomustus, määratlused), EVS-HD 60364-5-51 (Ehitiste elektripaigaldised. Osa 5-51: Elektriseadmete valik ja paigaldamine. Üldjuhised) ja EVS-HD 60364-5-52 (Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 5-52: Elektriseadmete valik ja paigaldamine. Juhistikud) standardeid. [17] MMJ ja PPJ kaableid tohib paigaldada



kuni -15 °C ning NYM ja (N)YM kaableid kuni -5 °C [17]. NYM kaablite omadused peavad vastama standardile DIN VDE 0250, osa 204. Tegemist on Saksamaal loodud elektro-tehnilise standardiga. [7] NYM kaablite paigaldus on sama mis PPJ ja MMJ kaablitel, kuid minimaalne paigaldustemperatuur on 5 °C. [7] Eesti standard EVS-EN 50525-1:2011 on loodud Euroopa standardi EN 50525-1 põhjal ja määrab muuhulgas nõuded juhtmete ja kaablite ehitusele ning juhtmete ja kaablite katsetamisele. [20] Standard EVS 720:2015 sisaldab nõudeid vasksoonega *XLPE*- või *PVC*-isolatsiooniga ning *PVC*-mantliga paigalduskaablitele Eesti kliimas kohtkindlaks paigaldamiseks. Standardis EVS 720:2015 on kirjas nõuded *PVC*-mantliga paigalduskaablite nimipingele, soonte tähistamisele, konstruktsioonile (sooned, isolatsioon, vahetäidis, mantel, kooritavus. välisläbimõõt) ja katsetamisele. 1,5 mm<sup>2</sup> ja 2,5 mm<sup>2</sup> ristlõike pindalaga paigalduskaablite nimipinge peab olema 300/500 V. Soon peab olema tehtud vasest ja lõõmutatud. Sooned peavad olema kokkukeerutatud. Isolatsiooniks peab olema TII tüüpi *PVC* või ristsillatud polüetüleen. [19]

Kolmesooneliste kaablite lubatud tähistus [21]:

1. Pruun-must-hall – ilma kaitsejuhita;
2. Sinine-pruun-must – ilma kaitsejuhita, ainult teatud erikasutuskohtades;
3. Kollaroheline-sinine-pruun – kaitsejuhiga.

Pruun (*PRU*), must (*MU*) ja hall (*HA*) tähistavad faasisoont, sinine (*SI*) on neutraalsoon ja kollaroheline (*KORO*) on kaitsesoone.

Järgnevatel tabelitel on standardis EVS 720:2015 esitatud nõudmised kaabli mõõtmete ja isolatsioonitakistuse kohta. Lisaks tabelites välja toodud väärtustele peab ka kaabli ristlõike vastama nimiristlõikele. Isolatsioonikihi minimaalne paksus on tabelis 1.4.

**Tabel 1.4.** Isolatsioonikihi minimaalne paksus [19]

Soonte nimiristlõike mm <sup>2</sup>	<i>PVC</i> isolatsiooni vähim keskmine paksus mm	<i>XLPE</i> isolatsiooni vähim keskmine paksus mm
1,5	0,7	0,5
2,5	0,8	0,5

Isolatsioonikihi nõutud takistused on toodud tabelis 1.5.

**Tabel 1.5.** Isolatsioonikihi nõutud takistused [19]

Soonte nimiristlõige mm <sup>2</sup>	<i>PVC</i> isolatsiooni vähim takistus 1 km pikkuse soone korral temperatuuril 70 °C MΩ	<i>XLPE</i> isolatsiooni vähim takistus 1 km pikkuse soone korral temperatuuril 70 °C MΩ
1,5	0,011	0,86
2,5	0,010	0,70

Tabelis 1.6. on nõuded kaablite mantli ja välisläbimõõdu kohta.

**Tabel 1.6.** Mantli ja välisläbimõõdu piirid [19]

Soonte arv ja nimiristlõige mm	Mantli min. paksus	Kaabli keskmine välisläbimõõt <i>PVC</i> isolatsiooniga mm		Kaabli keskmine välisläbimõõt <i>XLPE</i> isolatsiooniga mm	
		Alumine piir	Ülemine piir	Alumine piir	Ülemine piir
3x1,5	1,2	8,3	10,0	7,5	9,0
3x2,5	1,2	9,5	11,5	8,2	9,9

Kokkukeerutatud sooned peavad olema kaetud pressitud vahetäidisega, mis koosneb polümeeride segust, paberist või mõlemast. Soonte ja vahetäidise eraldamine üksteisest peab olema lihtne. Kaabli mantel peab koosnema TM1 tüüpi *PVC*kompaundist ning vastama direktiivile 2011/65/EL. Mantel peab vahetäidist tihedalt katma, ei tohi vahetäidise külge liimuda. Mantel ja vahetäidis peavad koos soontelt kergelt eralduma, soone isolatsiooni kahjustamata. Mantel peab 30 cm ulatuses pärast sobiva löike tegemist maksimaalse tõmbejõuga 60 N tõmmates kergesti toruna eemalduma. [19]

Kaabli materjalid ei tohi sisaldada pliid ega kloorparafiine. Plii puudumist kontrollitakse röntgenfluorestsents-spektroskoopiaseadmetega, kloorparafiinide puudumist *FTIR-seadmetega*. Kaabli materjalides kasutatavad plastifikaatorid ei tohi tekitada kaablist vedelike eraldumist. [19]

Standard näeb ette järgmisi katsetusi:

1. Elektrilised katsetused: soone pingeteimid, isolatsioonitakistuse mõõtmine ja isolatsioonivigade avastamine;
2. Konstruktsiooni ja mõõtmete kontroll: soone konstruktsioon, isolatsiooni ja mantli paksuse, kaabli läbimõõdu mõõtmine, tähistuse õigsuse kontroll;
3. Isolatsiooni mehaanilised omadused: erinevad venivuse hindamised, vanandamine, venivuse hindamine, kokkutõmbuvuse ja katkemispinge määramine;

4. Mantli mehaanilised omadused: vanandamine, katkemispinge, venivuse määramised;
5. *PVC* isolatsiooni ja mantli massikadu: selleks tehakse vanandamine termokapis;
6. Kokkusobivus: tervest kaablist näidis vanandatakse, tehakse isolatsiooni katkemispinge, venivuse, mantli katkemispinge ja venivuse määramine, *UV*-kindluse hindamine;
7. *PVC* isolatsiooni ja mantli vajumine kõrgel temperatuuril;
8. Isolatsiooni veeimavus;
9. *PVC* isolatsiooni ja mantli temperatuuristabiilsus;
10. Katsetused madalal temperatuuril: kõik katsetused tehakse temperatuuril  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , nende hulgas on mantli painutuskatsed, mantli venivuskatse ja löögikatse;
11. *PVC* isolatsiooni ja mantli temperatuuritaluvus;
12. Kaabi kasutamise ohutus: üksiku kaabli isekustuvuse kontroll, plii ja kloorparafiinide puudumise tõendamine, plastifikaatori lekke välistamine vanandamistemperatuuril  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  504 h möödudes;
13. Kaabi kooritavus: mantel koos vahekihiga peab 30 cm pikkuselt kergelt eralduma ühes tükis.

## 1.8. Standardi nõudeid töö käigus teostatud katsetustele

EVS-NE 60811-201: Isolatsiooni paksust tuleb mõõta mikroskoobiga vähemalt 10-kordse suurendusega või optilise digitaalse analüsaatoriga. Mõõtmine peab olema võimalik vähemalt 0,01 mm täpsusega ja vähemalt 3 tüvenumbriga, kui isolatsioon on väiksem kui 0,5 mm, ning 2 tüvenumbriga, kui isolatsioon on paksem kui 0,5 mm.. Proovi jaoks tuleb isolatsiooni ümbert eemaldada kõik katted isolatsiooni kahjustamata. Mõõtmiseks tuleb lõigata paksud viilud soone suunaga risti. Kui isolatsioon on ebatasasusteta, tuleb teha igal viilul 6 mõõtmist iga  $60^{\circ}$  tagant. Kui isolatsioonis esineb ebatasasusi, tuleb isolatsiooni paksust mõõta kuues kohas kõige õhematest kohtadest. Mantli paksuse mõõtmine ja kaabli välisläbimõõdu mõõtmine toimuvad vastavalt katsetusmeetodile EVS-EN 50395. See on tabelis 1.7. Isolatsiooni paksus peab vastama tingimustele tabelis 1.5. Katsetusmeetod EVS-EN 50395. Soone takistus: katsetusmeetod EVS-EN 50395.  $1,5\text{ mm}^2$  ristlõikega juhi takistus võib olla maksimaalselt  $12,1\text{ }\Omega/\text{km}$ .  $2,5\text{ mm}^2$  ristlõikega juhi takistus võib olla maksimaalselt  $7,41\text{ }\Omega/\text{km}$ . Isolatsioonivigade avastamisel kasutatakse teimipinget 2500 V, katse teostatakse ruumitemperatuuril  $20 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## 1.9. Mõõtmine ja statistika

Mõõtmist alustatakse mõõtesuuruse defineerimisega, seejärel valitakse mõõteprintsip ja -meetod ning kirjeldatakse mõõteprotseduuri [22]. Mõõtmise võib olla otsene (mõõtetulemus võetakse vahetult mõõteriista näidikult) või kaudne.

Kuna ükski mõõtevahend, -objektid, -meetodid, etalon jm., mida mõõtmise juures kasutatakse, ei ole ideaalsed, tekivad alati mõõtehälbed – mõõteobjekti ei ole võimalik täpselt mõõta. Lisaks tuleb arvestada, et keskkonnategurid võivad mõõtmise käigus muutuda. [22]

Statistikas nimetatakse üldkogumiks mingi tunnuse väärtuste kogumit. Üldkogum saab olla lõplik või lõpmatu. Mõõtmisel on üldkogumi maht lõpmatu, sest enamasti saab teoreetiliselt uuritavat mõõta lõpmatu arv kordi. Kuna reaalselt ei ole see võimalik, tehakse mõõtmisi mingi arv kordi, üldkogumist valitakse juhuslikult osahulk, mida nimetatakse valimiks ( $n$ ). [23]

Erinevatest allikatest selgub, et see, millise jaotuse järgi arvutatakse standardmääramatus (erinevate valemitega), sõltub katsete arvust ja mõõteriista tüübist. [22, 24]. Elektripaigaldised Teaberaamatus on toodud näide, kus analoog-oommeetriga mõõtes arvutatakse ristikülikjaotusfunktsiooni järgi, kuid numbernäidikuga mõõteriista kasutades võib arvutada normaaljaotusfunktsiooni järgi [24]. Mõõtetulemuseks kirjutatakse aritmeetiline (parandatud) keskmine ja sellele lisatud määramatus [22].

Mõõtemääramatust määratakse kahel meetodil, eristatakse A- ja B-tüüpi meetodit. Mõlema meetodi aluseks on tõenäosusjaotused. Mõlemad määramatuse komponendid esitatakse enamasti standardhälbena. A-tüüpi määramatus leitakse mõõdetud suuruste abil, B-tüüpi määramatus muudest andmetest, see iseloomustab mõõteriistast tingitud määramatust [22].

Aritmeetiline keskmine leitakse valemiga 1.5.

$$\bar{x} = \frac{\sum_1^i x_i}{n}, \quad (1.5)$$

Kus  $n$  on mõõteseria pikkus;

$x_i$  – mõõtmisel saadud väärtus.

A-tüüpi standardmääramatus on leitav valemiga 1.6. [22]

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_1^i |x_i - \bar{x}|}{n(n-1)}}. \quad (1.6)$$

Valemit 1.4. saab kasutada vaid juhul, kui  $n > 10$ . Masinates ja seadmetes kasutatavate detailide joonmõõtmete mõõtmiseks tehakse enamasti 2, 3 või 5 mõõtmist, täpsemate mõõtmiste korral enam kui kümme mõõtmist. [22] Töös on valitud mõõtmiste teostamiseks iga väärtuse kindlaks määramiseks 10 mõõtmist.

Liitmääramatus on kõigi määramatuste (enamasti A – ja B – tüüpi määramatuste) summa ja leitav valemiga 1.7.

$$u = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2}, \quad (1.7)$$

kus  $u_i$  on mingil meetodil leitav määramatus

A – ja B – tüüpi määramatuste korral on liitmääramatus A – ja B – tüüpi määramatuste summa arvutatav valemiga 1.8.

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (1.8)$$

Ohutuslaste tööde puhul ei piisa ainult liitmääramatuse arvutamisest. On vaja leida teatud usaldatavusega vahemik, millesse mõõtesuuruse väärtus jääb. [22] Tõenäosust, millega väärtus peab leitud piiridesse jääma, nim. usaldusnivooks. Enamasti piirdutakse mõõtmistel 95 % usalduspiiriga, 99 % usalduspiire kasutatakse väga olulistes, nt. meditsiinilistes katsetes. [25] Laiendmääramatus on liitmääramatus korrutatuna katteteguriga  $k$ . Normaaljaotust saab kasutada, kui  $n > 30$ . Kui  $n \leq 30$ , kasutatakse Studenti jaotust. [26].

Laiendmääramatus arvutatakse valemiga 1.9.

$$U = ut_{n;p}, \quad (1.9)$$

kus  $t_{n;p}$  on Studenti kordaja. Mõõtmisseeria pikkuse  $n=10$  ja usaldusnivoo  $p=95\%$  juures on statistiline kordaja  $t_{10; 95\%}=2,23$ .

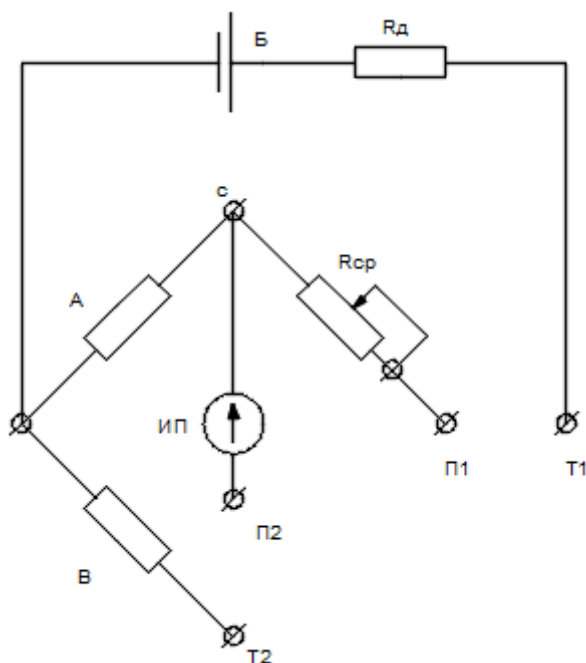
Töös on keskmised väärtused leitud Exceli programmis kasutades käsklust *AVERAGE*(vahemik) ja laiendmääramatus leitud standardhälbe (*STDEV*(vahemik)) korrutamisel student'i kordajaga 2,23.

## 2. MATERJAL JA METOODIKA

### 2.1. Elektritakistuse mõõtmine

Elektritakistus on füüsikaline suurus, mis on elektriahelale või elektriahelaosale rakendatava pinge ja seda ahelat või ahelaosa läbiva voolutugevuse jagatis, kui elektriahel või selle osa ei sisalda elektromotoorjõuallikaid. Elektriakistuse ühik SI süsteemis on oom ( $\Omega$ ). Definitsiooni kohaselt on takistus  $1\Omega$  elektritakistus, mis 1V pinge korral tekitab alalisvoolu 1A. Eritakistus on ühikulise ristlõike pindala ja pikkusega sirge silindrikujulise juhi elektritakistus. [27]

Elektritakistuse täppismõõtmiseks kasutatakse alalisvoolusilda. Kaablite elektritakistusi mõõdeti käesolevas töös mõõtesillaga УППП-60М, mille täpsusklass mõõtmiseks kasutatud mõõtepiirkonnas oli 0,1% [28]. Mõõtmise põhimõtte- ja ühendusskeem on joonisel 2.1. Elektritakistuse mõõtmiseks ühendati kaabli juht ühelt poolt klemmide  $II_1$  ja  $T_1$  vahele ning teiselt poolt klemmide  $II_2$  ja  $T_2$  vahele



**Joonis 2.1.** Alalisvoolusild takistuse mõõtmiseks [28]  $II_1$  – klemm;  $T_1$  – klemm;  $II_2$  – klemm;  $T_2$  – klemm;  $A$  – mõõtesilla õlg;  $B$  – mõõtesilla õlg;  $c$  – kontakt;  $R_{cp}$  – takistusmagasin;  $III$  – galvanomeeter;  $R_x$  – mõõdetav takistus;  $R_d$  – voolu piirav takistus;  $B$  – elektromotoorjõuallikas.

Takistusteks  $A$  ja  $B$  on mõõtepiirkonna ümberlüüti ölad.  $R_X$  on mõõdetav takistus ja  $R_{cp}$  on muudetav takisti, УПНП-60М-s on kasutatud selleks takistuste magasinini 50 takistusega. Takistust muudetakse nii, et vool galvanomeetris  $III$  puuduks. Selleks peab kehtima võrdus 2.1.

$$\frac{R_X}{R_{cp}} = \frac{B}{A} \quad (2.1)$$

Kui võrdus 2.1. kehtib, saab arvutada tundmatu takistuse valemiga 2.2.

$$R_X = \frac{B}{A} R_{cp} \quad (2.2)$$

Takistuse mõõtmisel mõõtesillaga peaks juht voolu all olema ainult näidu vaatamise hetkeks. Põhjuseks on juhi soojenemisest tingitud eritakistuse ja selle kaudu takistuse (valem 1.2.) muutumine.

Eritakistus temperatuuril  $t_2$  leitakse valemiga 1.10. [10]

$$\rho_2 = \rho_1 [1 + a_1 (\tau_2 - \tau_1)], \quad (1.10)$$

kus  $\rho_1$  on eritakistus temperatuuril  $t_1$   $\Omega \cdot m$ ;  
 $a_1$  – takistuse temperatuuritegur temperatuuril  $\tau_1$ ;  
 $\tau_2$  – temperatuur, mille juures eritakistust leida on vaja,  $^{\circ}C$ ;  
 $\tau_1$  – temperatuur, mille juures eritakistus käsiraamatus on antud,  $^{\circ}C$ .

$a_1$  arvutatakse valemiga 1.11. [10]

$$a_1 = 1 / (|\tau_k| + \tau), \quad (1.11)$$

Kus  $\tau_k$  on karakteristlik temperatuur,  $^{\circ}C$ ;  
 $\tau$  – temperatuur, mille juures temperatuuritegur leitakse,  $^{\circ}C$ .

Mõõtetulemustest (lisad A.1. ja A.2.) võib järeldada, et mõõtmiseks kulunud aeg ei



põhjustanud olulisi muutusi juhi elektritakistuses.

## **2.2. Kaabli mõõtmete mõõtmine**

Kaabli mõõtmeid mõõdetakse pikkusühikutes. SI süsteemi pikkusühikuks on meeter. Meeter on vaakumis  $^{86}_{36}\text{Kr}$  tasemete  $2p_{10}$  ja  $5d_5$  vahelisel siirdel kiirguva valguse 1650763,73 lainepikkust. [27]

Töös on kaablite mõõtmised mõõdetud mikromeeter Mitutoyo Digimatic Micrometer, mille mõõtepiirkond on 0 – 25 mm ja täpsus 0,001 mm. Kõige olulisem standardi EVS-NE 60811-201 ettekirjutus on mõõteriista täpsusklass ning kasutatud mõõteriist vastab nendele nõuetele. Mõõtetulemused saadi nelja tüvenumbri täpsusega.

Standardis EVS 720:2015 on nõutud isolatsioonitakistuse, mantli läbimõõdu ja kaabli läbimõõdu mõõtmine. Igal kaablil mõõdeti kaabli läbimõõt ja mantli paksus. Isolatsiooni paksust mõõta ei õnnestunud, sest isolatsioon pragunes. Selle leidmiseks mõõdeti iga juhi ja soone läbimõõt ning leiti nende vahe järgi arvutuslikult isolatsiooni paksus. Lisaks arvutati iga juhi mõõdetud läbimõõdude järgi selle keskmine ristlõike pindala. Mõõtmised tehti 200 mm proovitükkide ulatuses.

## **2.3. Isolatsioonitakistuse mõõtmine**

Isolatsiooni terviklikkust kontrollitakse tavaliselt nimipingest suurema alalispingega. Pingestatud olekus mõõdetakse koguvoolu. Tervikliku isolatsiooni korral on see mõõdetav mikroamprites. Koguvool, mis isolatsiooni läbib või selle pinnal kulgeb, koosneb kolmest komponendist: mahtuvuslik laadimisvool, absorptsiooni- ehk polarisatsioonivool, juhtivus- ehk lekkevool. Isolatsioonitakistust mõõdetakse tööjuhtide ja kaitsejuhi või tööjuhtide ja maandussüsteemi vahel. Tööjuhid võib mõõtmisel omavahel kokku ühendada. [24]

Ettevalmistused mõõtmiseks: [24]

1. Enne mõõtmist teostatakse visuaalne ülevaatus, vajadusel kõrvaldatakse puudused

2. Võimalusel lahutatakse kaitsejuht neutraaljuhist
3. Liigpingepiirikud jm. tulemit mõjutavad seadmed ühendatakse lahti
4. Valitakse mõõtemetoodika, enamasti kasutatakse lühiteimi meetodit
5. Valitakse testril teimipinge ja mõõtepiirkond
6. Kontrollitakse mõõtejuhtmete ja testri seisukorda 1 M $\Omega$  kontrollnäidisega, eriti oluline on teimipinge stabiilsus
7. Enne mõõtmist kontrollitakse ahelate pingestatust kas testri voltmeetri või eraldi analoogvoltmeetriga.

Oluline on kontrollida testri mõõtejuhtmeid: [24]

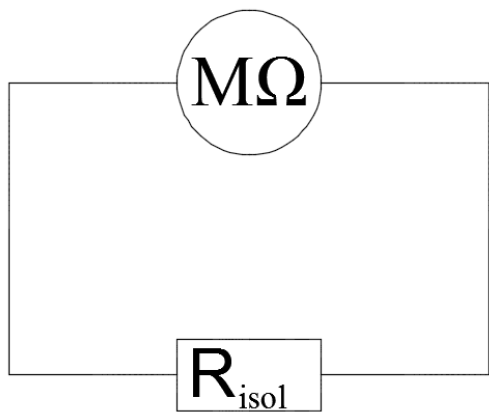
1. Tohib kasutada komplekti originaaljuhtmeid või samaväärseid õlikindlaid kummi- või sünteetilise isolatsiooniga juhtmeid. Neid juhtmeid ei ole lubatud kasutada millekski muuks.
2. Mõõtejuhtmete isolatsioon peab olema terve ja puhas (määrdeainetest, õlidest). Sama kehtib juhtmete otsikute (pistikud, klemmid) kohta.
3. Mõõtejuhtmete kontrollimiseks ühendatakse need testriga, keritakse tihedalt kokku, jättes otsad vabalt õhku rippuma. Mõõdetakse isolatsioonitakistus vastavalt testri kasutusjuhendile. Tervete juhtmete korral näitab tester mõõtmatu suurt või mõõtepiirkonna ülemist piiri ületavat väärtust. Kui tester näitab väiksemat väärtust, on juhtmetes leke. Seejärel kontrollitakse juhtmeid lühise korral.

Isolatsioonitakistuse mõõtmiseks kasutatakse järgnevaid meetodeid: [24]

1. Lühiteimi meetod: näit võetakse pärast teimipinge rakendumist ja näidu stabiliseerumist. Soovituslik aeg on 10 – 30 s. Kirja pannakse ka teimipinge rakendumise aeg.
2. Aeg-takistus meetod: kasutatakse seadmete, mootorite, generaatorite ja transformaatorite isolatsiooni kontrolliks. Aeg-takistus meetodi puhul võetakse kaks näitu vastavalt mõõdetava seadme tehnilisele dokumentatsioonile. Erineval ajal võetud näite võrreldakse omavahel. Korras isolatsiooniga näidud kasvavad, saastunud või niiskunud isolatsiooni korral näidud pea-aegu ei muutu.
3. Pingeastmete meetod: kasutatakse kõrgepingeseadmete kontrolliks. Kasutatakse kahte või enam teimipinget, alustades väiksema pingega mõõtmisest ja lõpetades suurimaga. Hea isolatsiooni korral jääb takistus erinevate pingetega mõõtes samaks.

Pärast igat mõõtmist peab seadmed või ahelad vabastama jääklaengust. [24]

Isolatsioonitakistust mõõdeti megaoommeetriga MC-05, isolatsioonitakistuse mõõtmist on kujutatud joonisel 2.2.



**Joonis 2.2.** Isolatsioonitakistuse mõõtmine:  $R_{isol}$  – isolatsioonitakistus;  $M\Omega$  - meger

Meger töötas 2500 V alalispingel, selleks tuli megeri vänta pöörata kiirusega  $120 \text{ min}^{-1}$ . Megaoommeeter oli ühendatud samm-mootoriga SIEMENS SIMOSTEP, et tagada ühtlane liikumiskiirus. Samm-mootorit juhti juhtkontrolleriga FM-STEPDRIVE. Samm-mootor töötas sagedusel 1,2 kHz, mis tagas kiiruse  $120 \text{ min}^{-1}$ . Isolatsioonitakistus mõõdeti igal kaablil iga soonepaari vahel. Jälgiti, et juhid omavahel kokku ei puutuks. Kasutati lühiteimi meetodit. Näit võeti 2 min pärast teimipinge rakendamist. Juhid olid ühendatud megaoommeetri klemmide ЛИНИЯ ja ЗЕМЛЯ (liin ja maandus) külge.

### 3. TULEMUSED JA ARUTELU

#### 3.1. Elektritakistused

Tabelites 3.1. ja 3.2. on uuritavate kaablite juhtide keskmised elektritakistused ühikuga  $\Omega/\text{km}$ , sest standardis EVS-NE 60228 on nõue kaablisooone juhi maksimaalsele keskmisele elektritakistusele ühikus  $\Omega/\text{km}$ . Katsetulemused on kirjas lisades Lisa C ja Lisa D tabelites C.1. ja D.1. Katsetulemustes on takistus ühikuga  $\Omega/100\text{ m}$ , sest uuritavad kaablid olid 100 m pikad. Et saada elektritakistused ühikuga  $\Omega/\text{km}$ , tuleb elektritakistused ühikuga  $\Omega/100\text{m}$  korrutada kümnega. Kaablid mõõdeti ruumitemperatuuril 23 °C. Standardis EVS-NE 60228 on antud elektritakistused temperatuuril 20 °C. Elektritakistused tuli teisendada temperatuurile 20 °C, selleks korrutati tulemusi koefitsiendiga 0,988. [19]

**Tabel 3.1.** 1,5 mm<sup>2</sup> juhi ristlõikega kaablite juhtide elektritakistused

	Mark	Soone värv	Mõõdetulemus $\Omega/\text{km}$	Maks. taksitus, $\Omega/\text{km}$	Kas vastab
1	(N)YM-J 3x1,5 300/500 V TF	PRU	$11,84 \pm 0,000666$	12,1	Vastab
2		KORO	$11,85 \pm 0,001927$	12,1	Vastab
3		SI	$11,82 \pm 0,001847$	12,1	Vastab
4	PPJ Light 3G1,5 R100 Foil	PRU	$12,08 \pm 0,001013$	12,1	Vastab
5		KORO	$12,04 \pm 0,002285$	12,1	Vastab
6		SI	$12,04 \pm 0,001345$	12,1	Vastab
7	XPJ 3G 1,5	PRU	$12,23 \pm 0,0007633$	12,1	Ei vasta
8		KORO	$12,27 \pm 0,001661$	12,1	Ei vasta
9		SI	$12,23 \pm 0,001748$	12,1	Ei vasta
10	PPJ 3x1,5	PRU	$12,26 \pm 0,002269$	12,1	Ei vasta
11		MU	$12,26 \pm 0,0007078$	12,1	Ei vasta
12		HA	$12,24 \pm 0,001252$	12,1	Ei vasta

Tabelist 3.1. selgub, et ainult kaablite (N)YM-J 3x1,5 300/500 V TF ja PPJ Light 3G1,5 R100 Foil kõikide juhtide takistused vastavad nõutule. XPJ 3G 1,5 ja PPJ 3x1,5 ühegi juhi takistus ei vasta nõutule. Selleks, et kaabel vastaks elektritakistuse osas standardi EVS 720:2015 nõuetele, peavad kõikide soonte elektritakistused olema väiksemad kui maksimaalne lubatud takistus.

**Tabel 3.2.** 2,5 mm<sup>2</sup> juhi ristlõikega kaablite juhtide elektritakistused

	Mark	Soone värv	Mõõtetulemus $\Omega/\text{km}$	Maks. taksitus, $\Omega/\text{km}$	Kas vastab
1	PPJ 3G2,5	PRU	$7,493 \pm 0,0007053$	7,41	Ei vasta
2		KORO	$7,494 \pm 0,0008086$	7,41	Ei vasta
3		SI	$7,502 \pm 0,0015556$	7,41	Ei vasta
4	PPJ Light 3x2,5	PRU	$7,501 \pm 0,001306$	7,41	Ei vasta
5		KORO	$7,454 \pm 0,0007540$	7,41	Ei vasta
6		SI	$7,452 \pm 0,0003770$	7,41	Ei vasta
7	XPJ 3G2,5	PRU	$7,433 \pm 0,0005841$	7,41	Ei vasta
8		KORO	$7,268 \pm 0,0008020$	7,41	Vastab
9		SI	$7,411 \pm 0,001583$	7,41	Ei vasta
10	(N)YM-J 3x2,5	PRU	$7,385 \pm 0,001156$	7,41	Vastab
11		KORO	$7,531 \pm 0,0007749$	7,41	Ei vasta
12		SI	$7,382 \pm 0,005554$	7,41	Vastab

Kaabli XPJ 3G2,5 kaitsejuhi takistus vastab nõutule, ülejäänud juhtide takistus on suurem, kui tohib. Kaabli (N)YM-J 3x2,5 neutraal- ja faasijuht vastavad nõutule, kaitsejuht ei vasta. Ülejäänud kaablite kõikide juhtide takistus on suurem, kui standard lubab. Kaheksast mõõdetud kaablist kahe kõikide juhtide elektritakistused vastavad standardi EVS 720:2015 nõuetele.

### 3.2. Kaablite mõõtmed

Tabelites 3.3 ja 3.4. on 1,5 mm<sup>2</sup> juhi ristlõikega kaablite keskmised ristlõigete pindalad ja isolatsiooni paksused. Mõõtmistulemused on lisades Lisa E ja Lisa F tabelites E.1., E.2., F.1. ja F.2.

**Tabel 3.3.** 1,5 mm<sup>2</sup> juhtide ristlõigete pindalad, mm<sup>2</sup>

Nr.	kaabel	Soone värv				
		KORO	SI	PRU	HA	MU
1	PPJ Light 3G1,5	1,434 ± 0,112	1,438 ± 0,049	1,442 ± 0,183	-	-
2	XPJ 3G1,5	1,411 ± 0,027	1,429 ± 0,090	1,444 ± 0,054	-	-
3	PPJ 3x1,5	-	-	1,403 ± 0,072	1,406 ± 0,055	1,389 ± 0,037
4	(N)YM-J 3x1,5	1,505 ± 0,138	1,521 ± 0,122	1,501 ± 0,145	-	-

**Tabel 3.4.** 1,5 mm<sup>2</sup> kaablite isolatsiooni paksused, mm

Nr.	kaabel	Soone värv				
		KORO	SI	PRU	HA	MU
1	PPJ Light 3G1,5	0,645 ± 0,024	0,653 ± 0,016	0,641 ± 0,045	-	-
2	XPJ 3G1,5	0,529 ± 0,014	0,515 ± 0,021	0,527 ± 0,066	-	-
3	PPJ 3x1,5	-	-	0,651 ± 0,030	0,649 ± 0,031	0,647 ± 0,046
4	(N)YM-J 3x1,5	0,468 ± 0,035	0,467 ± 0,029	0,478 ± 0,066	-	-

PPJ ja (N)YM kaablite isolatsiooni vähim keskmine paksus peab olema 1,5 mm<sup>2</sup> puhul 0,7 mm. XPJ kaabli isolatsiooni vähim keskmine paksus peab olema 0,5 mm. Kaablite XPJ 3G1,5, PPJ Light 3G1,5 ja (N)YM-J 3x1,5, ühegi soone isolatsiooni paksus ei vastanud nõutule. XPJ 3G1,5 kõik isolatsiooni paksused vastasid nõutule.

PPJ Light 3G1,5, PPJ 3x1,5 ja XPJ 3G1,5 kaablite ühegi juhi ristlõige ei olnud 1,5 mm<sup>2</sup>. (N)YM-J 3x1,5 kaabli kõikide soonte ristlõiked olid vähemalt 1,5 mm<sup>2</sup>.

Tabelis 3.5. on 1,5 mm<sup>2</sup> kaablite keskmised läbimõõdud ja mantli paksused. Mõõtmistulemused on lisades Lisa E ja Lisa F tabelites E.1., E.2., F.1. ja F..

**Tabel 3.5.** 1,5 mm<sup>2</sup> kaablite läbimõõdud ja mantli paksused, mm

Nr.	kaabel	Kaabli läbimõõt	Mantli paksus
1	PPJ Light 3G1,5	7,920 ± 0,057	1,165 ± 0,163
2	XPJ 3G1,5	8,540 ± 0,041	1,429 ± 0,086
3	PPJ 3x1,5	8,377 ± 0,126	1,202 ± 0,113
4	(N)YM-J 3x1,5	7,179 ± 0,045	0,856 ± 0,035

PVC-isolatsiooniga 3x1,5 mm kaabli keskmine läbimõõt peab jääma piiridesse 8,3...10,0 mm. PPJ Light 3G1,5 ja (N)YM-J 3x1,5 kaabli läbimõõt oli lubatust väiksem, PPJ 3x1,5 kaabli läbimõõt vastas standardile. XLPE-isolatsiooniga 3x1,5 mm kaabli keskmine läbimõõt peab jääma piiridesse 7,5...9,0 mm. XPJ 3G1,5 läbimõõt jäi lubatud piiridesse. Kolme soonega paigalduskaablite mantli keskmine paksus peab olema vähemalt 1,2 mm. Nõutud paksus oli kaablitel XPJ 3G1,5 ja PPJ 3x1,5. PPJ Light 3G1,5 ja (N)YM-J 3x1,5 mantli paksus oli väiksem kui 1, 2mm. Nii kaabli läbimõõt kui mantli paksus on standardile vastav samadel kaablitel.

Tabelis 3.6. on 2,5 mm<sup>2</sup> kaablite keskmised ristlõigete pindalad. Mõõtmistulemused on lisades Lisa G ja Lisa H tabelites G.1., G.2., H.1. ja H.2.

**Tabel 3.6.** 2,5 mm<sup>2</sup> juhtide ristlõigete pindalad, mm

Nr.	kaabel	Soone värv		
		KORO	SI	PRU
1	(N)YM 3x2,5	2,351 ± 0,094	2,384 ± 0,096	2,402 ± 0,159
2	XPJ 3G2,5	2,490 ± 0,198	2,385 ± 0,089	2,366 ± 0,146
3	PPJ Light 3G2,5	2,386 ± 0,353	2,365 ± 0,157	2,322 ± 0,104
4	PPJ 3G2,5	2,371 ± 0,184	2,376 ± 0,207	2,317 ± 0,073

2,5 mm<sup>2</sup> nimiristlõikega kaablitest ühegi juhi ristlõige ei ole 2,5 mm<sup>2</sup>, vaid on väiksem.

Tabelis 3.7. on 2,5 mm<sup>2</sup> kaablite keskmised isolatsiooni paksused. Mõõtmistulemused on lisades Lisa G ja Lisa H tabelites G.1., G.2., H.1. ja H.2.

**Tabel 3.7.** 2,5 mm<sup>2</sup> kaablite isolatsiooni paksused, mm

Nr.	Kaabel	Soone värv		
		KORO	SI	PRU
1	(N)YM 3x2,5	0,640 ± 0,025	0,609 ± 0,029	0,626 ± 0,030
2	XPJ 3G2,5	0,462 ± 0,061	0,550 ± 0,068	0,529 ± 0,047
3	PPJ Light 3G2,5	0,751 ± 0,086	0,744 ± 0,054	0,758 ± 0,054
4	PPJ 3G2,5	0,727 ± 0,070	0,731 ± 0,043	0,732 ± 0,026

2,5 mm<sup>2</sup> juhi ristlõikega kaablite isolatsiooni vähim keskmine paksus peab olema 0,8 mm. Kõik arvutuste teel leitud isolatsioonipaksused olid väiksemad, kui standardis ette nähtud vähim paksus.

Tabelis 3.8. on 2,5 mm<sup>2</sup> kaablite keskmised läbimõõdud ja mantli paksused. Mõõtmistulemused on lisades Lisa G ja Lisa H tabelites G.1., G.2., H.1. ja H.2.

**Tabel 3.8.** 2,5 mm<sup>2</sup> kaabli läbimõõdud ja mantli paksused, mm

Nr.	kaabel	Kaabli läbimõõt	Mantli paksus
1	(N)YM 3x2,5	8,234 ± 0,609	0,904 ± 0,126
2	XPJ 3G2,5	8,928 ± 0,324	1,446 ± 0,259
3	PPJ Light 3G2,5	9,009 ± 0,096	1,118 ± 0,154
4	PPJ 3G2,5	9,588 ± 0,138	1,294 ± 0,226

PVC-isolatsiooniga 3x2,5 mm kaabli keskmine läbimõõt peab jääma piiridesse 9,5...11,5 mm. (N)YM 3x2,5 ja PPJ Light 3G2,5 kaablite läbimõõt oli lubatust väiksem. PPJ 3G2,5 läbimõõt vastas standardile. XLPE-isolatsiooniga 3x2,5 mm kaabli keskmine läbimõõt peab jääma piiridesse 8,2...9,9 mm. XPJ 3G2,5 läbimõõt jäi lubatud piiridesse. Kolmesoonelise paigalduskaabli mantli minimaalne keskmine paksus on 1,2 mm. Nõutud paksus oli kaablitel XPJ 3G2,5 ja PPJ 3G2,5. Ülejäänud kaablite mantlid on lubatust õhemad. Ka 2,5 mm<sup>2</sup> juhi ristlõikega kaablitel on kaabli läbimõõt standardile vastav samadel kaablitel, mille mantli paksus on korrektne.



### 3.3. Isolatsioonitakistused

Isolatsioonitakistused mõõdeti punktis 2.3. kirjeldatud metoodikaga ja mõõtmistulemused on antud tabelites 3.9. ja 3.10.

**Tabel 3.9.** 2,5 mm<sup>2</sup> juhi ristlõikega kaablite mõõdetud isolatsioonitakistused

Kaabel							
PPJ 3G2,5		PPJ Light 3G2,5		(N)YM-J 3x2,5		XPJ 3G2,5	
Soonepaar	Takistus MΩ	Soonepaar	Takistus MΩ	Soonepaar	Takistus MΩ	Soonepaar	Takistus MΩ
SI-PRU	5000	SI-PRU	1000	SI-PRU	4000	SI-PRU	7000
SI-KORO	6000	SI-KORO	850	SI-KORO	5000	SI-KORO	10000
KORO-PRU	6000	KORO-PRU	600	KORO-PRU	4000	KORO-PRU	7000

Kaabli PPJ Light 3G2,5 erinevate soonepaaride isolatsioonitakistused on erinevad, teiste 2,5 mm<sup>2</sup> juhi ristlõikega kaablite isolatsioonitakistused on ühe kaabli piires sarnased.

**Tabel 3.10.** 1,5 mm<sup>2</sup> juhi ristlõikega kaablite mõõdetud isolatsioonitakistused

Kaabel							
XPJ 3G1,5		(N)YM-J 3x1,5		PPJ 3X1,5		PPJ Light 3G1,5	
Soonepaar	Takistus MΩ	Soonepaar	Takistus MΩ	Soonepaar	Takistus MΩ	Soonepaar	Takistus MΩ
SI-PRU	10000	SI-PRU	2500	PRU-MU	4500	SI-PRU	450
SI-KORO	10000	SI-KORO	4000	PRU-HA	4500	SI-KORO	450
KORO-PRU	10000	KORO-PRU	3500	MU-HA	5000	KORO-PRU	450

Kaabli (N)YM-J 3x1,5 erinevate soonepaaride isolatsioonid ei ole sarnase väärtusega, ülejäänud 1,5 mm<sup>2</sup> juhi ristlõikega kaablitel ei ole soonepaaride isolatsioonitakistustes erinevusi. Kaabli PPJ Light 3G1,5 isolatsioonitakistused erinevad oluliselt teiste 1,5 mm<sup>2</sup> juhi ristlõikega kaablite isolatsioonitakistustest. Tabelis 3.4. on kaablite PPJ 3X1,5 ja PPJ Light 3G1,5 isolatsiooni paksused samad, erinedes mõne protsendiga, kuid isolatsioonitakistused erinevad nendel kaablitel kümnekordselt. Kaablite PPJ 3X1,5 ja XPJ 3G1,5 isolatsioonitakistuste vahel on kahekordne erinevus. Kaablid XPJ 3G1,5 ja PPJ Light 3G1,5 vaheline erinevus on kõige suurem – 22-kordne.

Iga 10 °C temperatuuritõusu vähendab isolatsioonitakistust 2 korda. [29] Kaablite isolatsioonitakistust mõõdeti toatemperatuuril 23 °C, standardi järgi tuleb mõõta 70 °C temperatuuril. Et teisendada isolatsioonitakistus temperatuurile 70 °C, tuleb saadud

mõõtetulemuse jagada arvuga  $2^5$ . Kuna standardis on takistus 1 km pikkuse soone korral, korrutati mõõtetulemused veel 10-ga. Teisendatud tulemused on tabelites 3.11. ja 3.12.

**Tabel 3.11.** 2,5 mm<sup>2</sup> juhi ristlõikega kaablite arvutatud isolatsioonitakistused

Kaabel							
PPJ 3G2,5		PPJ Light 3G2,5		(N)YM-J 3x2,5		XPJ 3G2,5	
Soonepaar	Takistus MΩ	Soonepaar	Takistus MΩ	Soonepaar	Takistus MΩ	Soonepaar	Takistus MΩ
SI-PR	1563	SI-PR	312,5	SI-PR	1250	SI-PR	2188
SI-KORO	1875	SI-KORO	265,6	SI-KORO	1563	SI-KORO	3125
KORO-PR	1875	KORO-PR	187,5	KORO-PR	1250	KORO-PR	2188

Kõik 2,5 mm<sup>2</sup> juhi ristlõikega kaablite arvutatud isolatsioonitakistused vastasid standardile.

**Tabel 3.12.** 1,5 mm<sup>2</sup> juhi ristlõikega kaablite arvutatud isolatsioonitakistused

Kaabel							
XPJ 3G1,5		(N)YM-J 3x1,5		PPJ 3X1,5		PPJ Light 3G1,5	
Soonepaar	Takistus MΩ	Soonepaar	Takistus MΩ	Soonepaar	Takistus MΩ	Soonepaar	Takistus MΩ
SI-PR	3125	SI-PR	781,3	PR-MU	1406	SI-PR	140,6
SI-KORO	3125	SI-KORO	1250	PR-HA	1406	SI-KORO	140,6
KORO-PR	3125	KORO-PR	1094	MU-HA	1563	KORO-PR	140,6

Kõik 1,5 mm<sup>2</sup> juhi ristlõikega kaablite arvutatud isolatsioonitakistused vastasid standardile.

Kõik mõõdetud ja arvutatud mõõtmete ja takistuste vastavused standardile EVS 720:2015 on toodud kokkuvõttes tabelis 3.13.

**Tabel 3.13.** Kaablite mõõdetud ja arvutatud suuruste vastamine standardile EVS 720:2015

Kaabel	Elektritakistus	ristlõige	Isolatsiooni paksus	Kaabli läbimõõt	Mantli paksus	Isolatsiooni- takistus
PPJ Light 3G1,5	jah	ei	ei	ei	ei	jah
XPJ 3G1,5	ei	ei	jah	jah	jah	jah
PPJ 3x1,5	ei	ei	ei	jah	jah	jah
(N)YM-J 3x1,5	jah	jah	ei	ei	ei	jah
(N)YM 3x2,5	ei	ei	ei	ei	ei	jah
XPJ 3G2,5	ei	ei	ei	jah	jah	jah
PPJ Light 3G2,5	ei	ei	ei	ei	ei	jah
PPJ 3G2,5	ei	ei	ei	jah	jah	jah

Mitte ühelgi kaablil ei vastanud kõik suurused standardile. Kõige rohkem standardile vastavaid suurusi oli kaablil XPJ 3G1,5. Kaablitel (N)YM 3x2,5 ja PPJ Light 3G2,5 vastasid standardile ainult isolatsioonitakistused. Töös sooritatud katsetuste tulemuste põhjal ei saa väita, et PPJ ja XPJ kaablid oleksid parema kvaliteediga kui (N)YM kaablid.

## KOKKUVÕTE

Käesolevas uurimustöös vaadeldi kaubanduses saadaolevaid paigalduskaableid. Kaheksast uuritud kaablist kuus olid kodumaise tootja AS Drake Keila Cabels toodang. Kirjanduse ülevaate osas kirjeldati kaabli konstruktsiooni, kaablite tootmist, kaabli valikut, kaablitele kehtivaid standardeid ja statistilisi arvutusi mõõtmiste teostamiseks ja mõõtmistulemuste analüüsimiseks ning mõõtmismeetodeid. Materjali ja metoodika osas selgitati elektritakistuse, kaabli mõõtmete ja isolatsioonitakistuse mõõtmisprotseduure. Tulemuste ja arutelu osas esitati kaablitega teostatud mõõtmiste tulemused ja analüüs. Kaablitel mõõdeti juhtide elektritakistused, kaablite, soonte ja juhtide läbimõõdud, mantlite paksused ja isolatsioonitakistused. Kaablite isolatsioonitakistused vastasid standardile kõikidel kaablitel ja see oli ka ainus uuringu all olnud parameetritest, mis vastas kõikidel tootjatel kehtestatud nõuetele. Juhtide elektritakistused vastasid nõuetele kahel kaablil kaheksast. Kaheksast kaablist ühel vastasid kõik soonte pindalad kaabli sildil olevatele andmetele. Ülejäänud kaablite kõikide soonte pindalad olid nimiristlõikest väiksemad. Soonte isolatsiooni paksused vastasid standardis nõutule vaid ühel kaablil, ülejäänud seitsmel kaablil ei vastanud ühegi soone isolatsiooni paksus nõutule. Kaheksast kaablist neljal vastasid standardile nii mantli paksus, kui ka kaabli läbimõõt. Ükski kaabel ei olnud täiesti korrektne. Töös sooritatud katsetuste tulemused ei kinnita, et kodumaise tootja PPJ ja XPJ kaablid on parema kvaliteediga kui imporditud (N)YM kaablid.

# **COMPARISON OF INSTALLATION CABLES AVAILABLE IN ESTONIA**

## **Summary**

The aim of this thesis was to study whether the wiring cables with cross-sections of 1.5 mm<sup>2</sup> and 2.5 mm<sup>2</sup> sold in Estonia conform to the requirements of the EVS 720:2015 standard. From various sources have been reported that commercially available installation cables do not meet the standard. There are earlier studies about substandard cables, but there is a need to collect additional data on the quality of the currently available cables.

For this, the cross-sections, electrical resistance, insulation resistance, sheathing thickness, thickness of the cables and core diameters were measured in the present thesis. Total eight cables currently available was chosen for this study. The cables were measured with the Mitutoyo Digimatic Micrometer. Insulation resistance was measured with the MC-05 megohmmeter. Electrical resistance was measured with the device УИИП-60М.

Electrical resistance of two cables, all cross-sections of one cable and all insulation thicknesses of one cable conformed to the standard. Sheathing thickness and cable diameter of four cables conformed to the standard.

None of the cables under observation did fully comply with the standard. Insulation resistance was the only one of measured parameters that was satisfied by all the cables.

## KASUTATUD KIRJANDUS

1. Kasutuses ja osaliselt kasutuses hoonete tulekahjud 2015. aastal. (2015). *Päästeamet*. <https://www.rescue.ee/dotAsset/db02b0c0-a45a-4c85-b38b-1a0fcb7f4685.pdf>. (16.04.2017).
2. **Laurson, J.** (2007). Jüri Laurson: Elektri kaablid ei vasta standarditele. – *Postimees*. [e-ajakiri]. <http://majandus24.postimees.ee/1660505/juri-laurson-elektrikaablid-ei-vasta-standarditele> (13.01.2017).
3. **Ehasalu, P.** (2006). Elektritöödeks valitud kvaliteetsed materjalid tagavad hoone ohutuse. – *Äripäev*. [e-ajakiri]. <http://www.aripaev.ee/uudised/2006/09/03/elektritöödeks-valitud-kvaliteetsed-materjalid-tagavad-hoone-ohutuse>. (13.01.2017).
4. **Viltrop, R.** (s.a.). Vaata mida ostad - Kõik kaablid ei ole samad! [http://www.draka.ee/public/files/Ehitaja-OmaMaja\\_April\\_2014.pdf](http://www.draka.ee/public/files/Ehitaja-OmaMaja_April_2014.pdf). (19.10.2016).
5. Hinnakiri. – *AS Effex*. <http://www.effex.ee/index.php?pg=1&pgr=16&sgr=138> (18.03.2017).
6. Tootekataloog. – *Harju Elekter*. [http://www.harjuelekter.com/et/product-catalog/2/2.1/2101?items\\_per\\_page=All](http://www.harjuelekter.com/et/product-catalog/2/2.1/2101?items_per_page=All) (18.03.2017).
7. **Risthein, E.** (2005). Elamute Elektripaigaldised. Tallinn: *Prisma Print*. 244 lk.
8. **Risthein, E.** (2007). Sissejuhatus Energiatehnikasse, Tallinn: *Kirjastus Elektriajam*, 260 lk.
9. Elektripaigaldustööd I. (2009). *Eesti Elektritööde Ettevõtjate Liit*. 229 lk.
10. **Lepa, J., Jürjenson, K., Peets, T.** (1996). Elektrimaterjalid. Tartu: *Eesti Põllumajandusülikool*. 55 lk.
11. Do you know how a Low Voltage electric cable is made? (s.a.). *TopCable*. <http://www.topcable.com/about/>. (24.10.2016).
12. **Nikiforov, V.** (1963). Metallide tehnoloogia. Tallinn: *Eesti Riiklik Kirjastus*. 400 lk.
13. **Ostapenko, N., Kropivnitski, N.** (1975). Metallide tehnoloogia. Tallinn: *Valgus*. 298 lk.
14. **Powell, A. S.** (1997). How copper cable is made. <http://www.cablinginstall.com/articles/print/volume-5/issue-9/contents/design/how-copper-cable-is-made.html> (23.10.2016).
15. 2.2 Juhtmed ja kaablid. (2013). *Tallinna Tehnikaülikool*. [http://www.ene.ttu.ee/elektriajamid/oppeinfo/materjal/AAV0150/2.2\\_Juhtmed\\_ja\\_kaablid.Slaidid2013.pdf](http://www.ene.ttu.ee/elektriajamid/oppeinfo/materjal/AAV0150/2.2_Juhtmed_ja_kaablid.Slaidid2013.pdf). (12.11.2016).
16. EVS-HD 60364-5-52:2011 Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 5-52: Elektriseadmete valik ja paigaldamine. Juhistikud. (2011). *Eesti Standardikeskus*.
17. Eestis kasutatavad kaablid – *Tehnilise Järelevalve Amet*. <http://www.tja.ee/eestis-kasutatavad-kaablid/> (22.11.2016).

18. *Eesti Standardikeskus*, [on-line]. [www.evs.ee](http://www.evs.ee). (08.11.2016).
19. EVS 720:2015 PAIGALDUSKAABLID Polüvinüülkloriidmantliga paigalduskaabel. (2015). Eesti Standardikeskus.
20. EVS-EN 50525-1:2011 Juhtmed ja kaablid. Tugevvoolujuhtmed ja -kaablid nimipingega kuni 450/750 V (U0/U). Osa 1: Üldnõuded. (2011). *Eesti Standardikeskus*.
21. HD 308 22:2007 Kaablite ja painduhtmete soonte tähistamine. (2007). *Eesti Standardikeskus*.
22. **Laaneots, R., Mathiesen, O.** (2002). Mõõtmise alused, *TTÜ kirjastus*. 206 lk.
23. **Gurski, J.** (1986). Tõenäosusteooria ja matemaatilise statistika elemendid. Tallinn: *Valgus*. 311 lk.
24. **Loorens, J.** (2009). Elektripaigaldised Teaberaamat 9 Katse- ja mõõdetoimingud ning teimid. Tallinn. 89 lk.
25. Tõenäosusliku valimi kalkulaatorid. [on-line]. *Tartu Ülikool*  
[https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/27764/tenosusliku\\_valimi\\_kalkulaatorid.html](https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/27764/tenosusliku_valimi_kalkulaatorid.html) (04.12.2016).
26. **Käerdi, H.** (1997). Statistika ja Tõenäosusteooria Alused. Tallinn. 142 lk.
27. Tehnikaleksikon A–Y (1981). Tallinn: *Valgus*. 656 lk.
28. ПРИБОР УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ УПИП-60М. (1977). *Seadme pass*.
29. "A Stitch In Time" The Complete Guide to Electrical Insulation Testing. (2006). *Megger*.

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks  
ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Kadri Siht,  
sünniaeg 26.08.1985,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö  
EESTIS KASUTATAVATE PAIGALDUSKAABLITE VÕRDLUS,

mille juhendaja on nooremteadur Erkki Jõgi *Msc*,

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor \_\_\_\_\_  
(allkiri)

Tartu, 31.05.2017

---

**Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_  
(kuupäev)

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_  
(kuupäev)



**LISAD**

## Lisa A. Draka XLPE isolatsiooniga paigalduskaabli tootjaandmed

### Kasutusala

Kohtkindlaks paigalduseks sise- ja välitingimustes, kuid mitte pinnasesse. Sobiv paigaldamiseks krohvi alla. Väli paigaldusel on vajalik kaabel otseste päikesekiirte eest kaitsta. Soonte isolatsioon peab olema kaitstud otsese UV kiirguse eest, mis võib tekkida näiteks valgustites.

Maksimaalne tõmbetugevus .....Ax50 N/mm<sup>2</sup>

### Lubatud temperatuurid

Suurim lubatud temperatuur

- kestval koormusel .....70°C

- lühise korral (maks. 5 s) .....250°C

Madalaim lubatav paigaldustemperatuur ..... -15°C

### Lubatud painderadiused

Paigaldusel ..... 10D

Ühekordselt lõplikul painutamisel ..... 3D

### Ehitus

Juht ..... lõõmutatud ühetraadiline vaskjuht,  
IEC 60228 klass 1

Isolatsioon ..... XLPE, sooned eristatavad värvide järgi

Vahekiht ..... täitematerjal

Väliskest ..... valge PVC

### Juhtmete eristamine

Värvid vastavalt HD 308 S2

Kaitsejuhiga kaablid (tähisega G)

3-juhtmeline .....kolla-roheline, sinine, pruun

4-juhtmeline .....kolla-roheline, sinine,  
pruun,must

5-juhtmeline .....kolla-roheline, sinine, pruun,  
must, hall

### Standardid

EVS 720:2011, isolatsioon HD 603

IEC 60332-1

### Sertifikaadid

CE

### Nimipinged

U<sub>0</sub>/U=300/500 V

Juhtmete arv ja ristlõike pindala n x mm <sup>2</sup>	EAN kood	Diameeter mm	Mass kg/km	Alalisvoolutakistus 20°C maks. Ω/km	Standardpikkus m
3G1,5	4741532028112	8	100	12,1	100
3G2,5	4741532028143	9	140	7,41	100
5G1,5	4741532028518	9	150	12,1	100
5G2,5	4741532028549	10	205	7,41	50

## Lisa B. Draka PVC isolatsiooniga paigalduskaabli tootjaandmed

### Kasutusala

Kohtkindlaks paigalduseks sise- ja välitingimustes, kuid mitte pinnasesse. Sobiv paigaldamiseks krohvi alla. Välipaigaldusel on vajalik kaabel otseste päikesekiirte eest kaitsta.

Maksimaalne tõmbetugevus .....Ax50 N/mm<sup>2</sup>

### Lubatud temperatuurid

Suurim lubatud temperatuur

- kestval koormusel .....70°C

- lühise korral (maks. 5 s) .....160°C

Madalaim lubatav paigaldustemperatuur .....-15°C

### Lubatud painderadiused

Paigaldusel .....10D

Ühekordsest lõplikul painutamisel .....3D

### Ehitus

Juht ..... lõõmutatud vaskjuht 1,5 – 4 mm<sup>2</sup>

ühetraadiline, 6 – 25 mm<sup>2</sup> keerutatud

Isolatsioon ..... PVC, sooned eristatavad värvide järgi

Vahekiht ..... täitematerjal

Väliskest ..... valge PVC, meetrimärk

### Juhtmete eristamine

Juhtmete eristamine vastavalt HD 308 S2:2002 standardile

Kaitsejuhtide kaablid (tähistega X)

2-juhtmeline ..... sinine, pruun

3-juhtmeline ..... pruun, must, hall

Kaitsejuhtide kaablid (tähistega G)

3-juhtmeline ..... kolla-roheline, sinine, pruun

4-juhtmeline (1,5 ja 2,5 mm<sup>2</sup>) . kolla-roheline, sinine, pruun, must

4-juhtmeline (4-25 mm<sup>2</sup>) . kolla-roheline, pruun, must, hall

5-juhtmeline ..... kolla-roheline, sinine, pruun, must, hall

### Standardid

EVS 720:1996, EVS 721:1996, SFS 2091, SFS 5524

### Sertifikaadid

EEL, FI, CE

### Nimipinged

U<sub>0</sub>/U=300/500 V (1,5 – 4 mm<sup>2</sup>)

U<sub>0</sub>/U=450/750 V (6 – 25 mm<sup>2</sup>)

Juhtmete arv ja ristlõike pindala n x mm <sup>2</sup>	EAN kood (SSTL-kood) karp	EAN kood (SSTL- kood) trummel	Diameeter mm	Mass kaabel + trummel kg/km	Alalisvoolutakistus 20°C maks. Ω/km	Standard- pikkus, karp m	Standard- pikkus, trummel m
<b>Ilma maandusjuhtmetega</b>							
2x1,5	04 073 12-4		8	105	12,1	100	
3x1,5	04 073 22-3		9	125	12,1	100	
2x2,5	04 073 13-1		10	150	7,41	100	
<b>Maandusjuhtmetega</b>							
3G1,5	04 072 22-6	04 572 22-1	9	125	12,1	100	2000
4G1,5	04 072 32-5	04 572 32-0	10	155	12,1	100	1000
5G1,5	04 072 42-4	04 072 42-9	10	180	12,1	50	1000
3G2,5	04 072 23-3	04 572 23-8	10	180	7,41	100	1000
4G2,5	04 072 33-2	04 572 33-7	11	220	7,41	50	1000
5G2,5	04 072 43-1	04 572 43-6	12	260	7,41	50	750
3G4		04 572 24-5	10	280	4,61		1000
4G4		04 572 34-4	12	340	4,61		750
5G4		04 572 44-3	13	410	4,61		500
3G6		04 572 25-2	14	350	3,08		500
4G6		04 572 35-1	16	430	3,08		500
5G6		04 572 45-0	17	510	3,08		500
4G10		04 572 36-8	19	670	1,83		400
5G10		04 572 46-7	21	810	1,83		250
4G16		04 572 37-5	22	950	1,15		250
5G16		04 572 47-4	24	1150	1,15		250
4G25		04 572 38-2	30	1780	0,727		250
5G25		04 572 48-1	31	1900	0,727		250

**Tabel C.1.** 1,5 mm<sup>2</sup> juhi ristlõikega kaablite elektritakistused,  $\Omega/100\text{m}$ 

Kaabel	(N)YM-J 3x1,5 300/500 V TF			PPJ Light 3G1,5 R100 Foil			XPJ 3G 1,5			PPJ 3x1,5		
Katse nr.	L	PE	N	L	PE	N	L	PE	N	Pruun	Must	Hall
1	1,1986	1,1998	1,1968	1,2228	1,2195	1,2186	1,2375	1,2421	1,2382	1,2399	1,2411	1,2392
2	1,1984	1,1988	1,1963	1,2229	1,2187	1,2178	1,2375	1,2423	1,2371	1,2412	1,241	1,2387
3	1,1986	1,1989	1,1964	1,2227	1,2188	1,2186	1,2374	1,2421	1,2373	1,2411	1,2414	1,2386
4	1,1985	1,1996	1,1955	1,2228	1,2179	1,2185	1,2375	1,2413	1,2373	1,2413	1,2412	1,2387
5	1,1983	1,1998	1,1965	1,2225	1,2187	1,2184	1,2377	1,2421	1,2376	1,2411	1,2411	1,2385
6	1,1983	1,1993	1,1963	1,2224	1,2185	1,2182	1,2376	1,2418	1,2373	1,241	1,2412	1,2384
7	1,1986	1,1995	1,1963	1,2225	1,2184	1,2182	1,2374	1,2417	1,2372	1,2411	1,241	1,2387
8	1,1984	1,1992	1,1964	1,2226	1,2187	1,2182	1,2372	1,2417	1,2374	1,2412	1,241	1,2386
9	1,1984	1,1992	1,1962	1,2225	1,2189	1,2183	1,2374	1,242	1,2373	1,241	1,2412	1,2385
10	1,1984	1,1994	1,1963	1,2224	1,2188	1,2183	1,2374	1,2421	1,2373	1,2412	1,2411	1,2388

Lisa C. 1,5 mm<sup>2</sup> juhi ristlõikega kaablite elektritakistused

**Tabel D.1.** 2,5 mm<sup>2</sup> juhi ristlõikega kaablite elektritakistused, Ω/100m

Kaabel	PPJ 3G2,5			PPJ Light 3x2,5			XPJ 3G2,5			(N)YM-J 3x2,5		
Katse nr.	L	PE	N	L	PE	N	L	PE	N	L	PE	N
1	0,7583	0,7584	0,7593	0,7593	0,7546	0,7543	0,7522	0,7359	0,7498	0,7478	0,7624	0,7478
2	0,7583	0,7583	0,7594	0,7596	0,7545	0,7542	0,7523	0,7354	0,7498	0,7478	0,7625	0,7468
3	0,7585	0,7585	0,7593	0,7594	0,7546	0,7541	0,7525	0,7355	0,7497	0,7476	0,7622	0,7467
4	0,7586	0,7586	0,7593	0,7591	0,7543	0,7542	0,7524	0,7357	0,7498	0,7475	0,7624	0,7468
5	0,7585	0,7585	0,7594	0,7589	0,7543	0,7541	0,7522	0,7356	0,7499	0,7472	0,7622	0,7469
6	0,7584	0,7584	0,7593	0,7588	0,7544	0,7542	0,7522	0,7355	0,7505	0,7473	0,7623	0,7496
7	0,7583	0,7587	0,7594	0,7593	0,7542	0,7543	0,7523	0,7356	0,7503	0,7475	0,7621	0,7459
8	0,7584	0,7587	0,7594	0,7592	0,7544	0,7542	0,7522	0,7357	0,7502	0,7474	0,7623	0,7468
9	0,7585	0,7587	0,7594	0,7592	0,7544	0,7542	0,7522	0,7357	0,7503	0,7473	0,7621	0,7469
10	0,7582	0,7586	0,7585	0,7592	0,7543	0,7542	0,7523	0,7357	0,7502	0,7474	0,7624	0,7471

**Tabel E.1.** Kaabli PPJ Light 3G1,5 mõõtmised

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
juhi läbimõõt, mm	PE	1,346	1,338	1,415	1,336	1,344	1,342	1,345	1,355	1,354	1,34
	N	1,356	1,357	1,371	1,367	1,342	1,347	1,347	1,342	1,346	1,36
	L	1,336	1,458	1,335	1,355	1,336	1,337	1,341	1,362	1,338	1,353
soone läbim., mm	PE	2,645	2,643	2,646	2,629	2,641	2,628	2,646	2,654	2,644	2,643
	N	2,672	2,645	2,706	2,652	2,643	2,661	2,657	2,655	2,651	2,661
	L	2,654	2,632	2,642	2,651	2,632	2,621	2,638	2,632	2,639	2,636
kaabli läbim., mm		7,872	7,895	7,908	7,937	7,933	7,931	7,955	7,949	7,91	7,908
mantli paksus, mm		1,154	1,308	1,262	1,166	1,139	1,074	1,157	1,185	1,093	1,108

**Tabel E.2.** Kaabli XPJ 3G1,5 mõõtmised

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
juhi läbimõõt, mm	PE	1,342	1,342	1,332	1,346	1,348	1,348	1,341	1,333	1,337	1,336
	N	1,344	1,336	1,347	1,401	1,343	1,337	1,343	1,351	1,347	1,344
	L	1,344	1,37	1,348	1,369	1,36	1,343	1,347	1,363	1,348	1,371
soone läbim., mm	PE	2,415	2,394	2,392	2,401	2,393	2,39	2,424	2,385	2,388	2,4
	N	2,376	2,377	2,38	2,381	2,383	2,383	2,382	2,37	2,389	2,377
	L	2,383	2,4	2,377	2,38	2,379	2,378	2,533	2,501	2,385	2,377
kaabli läbim., mm		8,575	8,555	8,537	8,515	8,551	8,552	8,536	8,532	8,528	8,517
mantli paksus, mm		1,489	1,367	1,492	1,401	1,421	1,441	1,427	1,438	1,406	1,407

**Tabel F.1.** Kaabli PPJ 3x1,5 mõõtmised

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
juhi läbimõõt, mm	hall	1,335	1,361	1,322	1,334	1,33	1,335	1,337	1,328	1,351	1,348
	pruun	1,338	1,348	1,376	1,329	1,325	1,326	1,336	1,329	1,333	1,33
	must	1,349	1,33	1,336	1,33	1,321	1,324	1,33	1,329	1,324	1,327
soone läbim., mm	hall	2,662	2,631	2,633	2,673	2,635	2,602	2,608	2,657	2,619	2,645
	pruun	2,638	2,641	2,622	2,628	2,637	2,683	2,629	2,638	2,635	2,643
	must	2,62	2,627	2,545	2,637	2,694	2,635	2,644	2,621	2,594	2,629
kaabli läbim., mm		8,347	8,351	8,398	8,387	8,244	8,396	8,381	8,413	8,461	8,387
mantli paksus, mm		1,266	1,252	1,225	1,242	1,185	1,157	1,131	1,141	1,249	1,172

**Tabel F.2.** Kaabli (N)YM-J 3x1,5 mõõtmised

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
juhi läbimõõt, mm	PE	1,371	1,391	1,362	1,366	1,439	1,365	1,397	1,354	1,424	1,377
	N	1,384	1,448	1,389	1,422	1,366	1,386	1,393	1,376	1,374	1,381
	L	1,387	1,374	1,38	1,461	1,36	1,382	1,374	1,361	1,382	1,362
soone läbim., mm	PE	2,301	2,303	2,317	2,324	2,32	2,329	2,335	2,334	2,318	2,323
	N	2,307	2,344	2,297	2,356	2,322	2,31	2,308	2,329	2,314	2,366
	L	2,306	2,437	2,398	2,305	2,335	2,332	2,305	2,332	2,306	2,331
kaabli läbim., mm		7,161	7,165	7,175	7,211	7,19	7,18	7,165	7,148	7,198	7,201
mantli paksus, mm		0,869	0,867	0,879	0,843	0,847	0,861	0,862	0,861	0,851	0,823

**Tabel G.1.** Kaabli (N)YM 3x2,5 mõõtmised

Katse nr.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Juhi läbimõõt, mm	PE	1,745	1,717	1,712	1,72	1,742	1,728	1,719	1,749	1,719	1,754
	N	1,73	1,726	1,745	1,763	1,769	1,723	1,738	1,735	1,756	1,74
	L	1,818	1,736	1,731	1,753	1,728	1,742	1,743	1,741	1,745	1,755
Soone läbim., mm	PE	3,019	3,033	3,009	3	2,994	2,987	3,012	3,006	3,026	3,019
	N	2,989	2,971	2,94	2,953	2,957	2,95	2,944	2,958	3,005	2,943
	L	3,006	3,018	3,004	3,009	3	2,999	3,005	3,001	2,994	2,985
Kaabli läbim., mm		7,889	7,882	8,377	8,419	8,62	8,2	8,263	7,875	8,271	8,539
Mantli paksus, mm		0,941	0,839	0,848	0,874	0,904	0,884	0,834	0,976	0,976	0,961

**Tabel G.2.** Kaabli XPJ 3G2,5 mõõtmised

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
juhi läbimõõt, mm	PE	1,839	1,781	1,774	1,779	1,826	1,774	1,744	1,747	1,79	1,752
	N	1,743	1,748	1,753	1,752	1,726	1,739	1,723	1,743	1,772	1,73
	L	1,743	1,769	1,716	1,731	1,702	1,732	1,719	1,723	1,779	1,746
soone läbim., mm	PE	2,725	2,677	2,733	2,678	2,677	2,826	2,677	2,683	2,685	2,677
	N	2,797	2,804	2,801	2,857	2,802	2,915	2,96	2,832	2,873	2,79
	L	2,786	2,804	2,785	2,789	2,789	2,789	2,77	2,882	2,777	2,778
kaabli läbim., mm		8,729	8,754	9,04	8,835	8,912	8,96	8,969	8,844	9,209	9,028
mantli paksus, mm		1,27	1,706	1,341	1,409	1,452	1,369	1,498	1,482	1,462	1,466



**Tabel H.1.** Kaabli PPJ Light 3G2,5 mõõtmised

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
juhi läbimõõt, mm	PE	1,702	1,772	1,714	1,712	1,724	1,889	1,729	1,71	1,76	1,714
	N	1,723	1,715	1,737	1,757	1,717	1,723	1,708	1,728	1,792	1,754
	L	1,71	1,709	1,715	1,702	1,712	1,749	1,734	1,699	1,724	1,743
soone läbim., mm	PE	3,238	3,419	3,224	3,231	3,254	3,226	3,217	3,216	3,206	3,214
	N	3,206	3,223	3,301	3,208	3,198	3,197	3,164	3,237	3,195	3,31
	L	3,23	3,345	3,235	3,213	3,227	3,195	3,232	3,226	3,235	3,227
kaabli läbim., mm		8,979	8,995	9,036	9,028	9,018	9,058	9,065	9,023	8,927	8,965
mantli paksus, mm		1,059	1,179	1,204	1,067	1,09	1,072	1,114	1,224	1,017	1,154

**Tabel H.2.** Kaabli PPJ 3G2,5

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
juhi läbimõõt, mm	PE	1,72	1,719	1,722	1,721	1,724	1,797	1,733	1,791	1,722	1,729
	N	1,705	1,731	1,715	1,776	1,767	1,72	1,796	1,701	1,767	1,717
	L	1,703	1,733	1,709	1,722	1,712	1,729	1,709	1,724	1,736	1,704
soone läbim., mm	PE	3,13	3,188	3,272	3,214	3,212	3,183	3,187	3,123	3,223	3,189
	N	3,168	3,212	3,195	3,21	3,217	3,156	3,185	3,234	3,239	3,208
	L	3,193	3,189	3,195	3,175	3,221	3,176	3,167	3,163	3,176	3,175
kaabli läbim., mm		9,563	9,554	9,677	9,604	9,612	9,645	9,563	9,647	9,468	9,542
mantli paksus, mm		1,18	1,224	1,249	1,427	1,303	1,458	1,409	1,197	1,238	1,252